

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-104137

(43)Date of publication of application : 21.04.1995

(51)Int.Cl.

G02B 6/122

H04B 10/02

H04B 10/18

(21)Application number : 05-246919

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP
<NTT>

(22)Date of filing : 01.10.1993

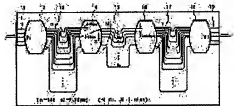
(72)Inventor : SUZUKI SENTA
OKAMOTO KATSUNARI
TAKIGUCHI KOICHI

(54) OPTICAL DISPERSION EQUALIZING CIRCUIT

(57)Abstract:

PURPOSE: To shape the waveforms of light signals subjected to distortion by propagating in optical fibers having dispersion in the form of the light signals as it is without converting the light signals to electric signals with the optical dispersion equalizing circuit for shaping the waveforms of the light signals.

CONSTITUTION: This optical dispersion equalizing circuit has at least one piece of input waveguides 11, a first slab waveguide 13, a first waveguide array 13 consisting of plural pieces of waveguides having the prescribed waveguide length differences increasing successively, a second slab waveguide 14, a first array waveguide diffraction grating having a structure obtd. by successively connecting plural pieces of output waveguides, a second array waveguide diffraction grating having the similar structure and a second waveguide array 15 consisting of plural pieces of the waveguides having the successively increasing waveguide length differences to apply prescribed delay time and connecting the output waveguides of the first array waveguide diffraction grating and the output waveguides of the second array waveguide diffraction grating. The light signals are inputted to the input waveguides 11 of the first array waveguide diffraction grating and the light signals are outputted from the input waveguides 19 of the second array waveguide diffraction grating.



(10) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-104137

(43) 公開日 平成7年(1995)4月21日

(51) Int.Cl.⁴

識別記号 庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 0 2 B 6/122

H 0 4 B 10/02

10/18

9412-2K

9372-5K

G 0 2 B 6/ 12

H 0 4 B 9/ 00

審査請求 未請求 請求項の数7 O L (全 12 頁)

A

M

(21) 出願番号 特願平5-246919

(22) 出願日 平成5年(1993)10月1日

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(72) 発明者 鈴木 原太

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72) 発明者 岡本 勝就

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72) 発明者 瀧口 浩一

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

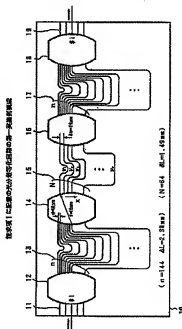
(74) 代理人 弁理士 古谷 史旺

(54) 【発明の名称】 光分散等化回路

(57) 【要約】

【目的】 分散を有する光ファイバを伝送して歪みを受けた光信号の波形整形を行う光分散等化回路に関し、光信号を電気信号に変換することなく光信号のままで波形整形することを目的とする。

【構成】 少なくとも1本の入力導波路、第1のスラブ導波路、所定の導波路長さで順次長くなる複数本の導波路からなる第1の導波路アレイ、第2のスラブ導波路、複数本の出力導波路を順次接続した構造の第1のアレイ導波路回折格子および同様の構造の第2のアレイ導波路回折格子と、所定の遅延時間を与える導波路長さで順次長くなる複数本の導波路からなり、第1のアレイ導波路回折格子の出力導波路と第2のアレイ導波路回折格子の出力導波路を接続する第2の導波路アレイとを備え、第1のアレイ導波路回折格子の入力導波路に光信号を入力し、第2のアレイ導波路回折格子の入力導波路から光信号を出力する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくとも1本の入力導波路、第1のスラブ導波路、所定の導波路長差で順次長くなる複数本の導波路からなる第1の導波路アレイ、第2のスラブ導波路、複数本の出力導波路を順次接続した構造の第1のアレイ導波路回折格子および同様の構造の第2のアレイ導波路回折格子と、

所定の遅延時間を与える導波路長差で順次長くなる複数本の導波路からなり、前記第1のアレイ導波路回折格子の出力導波路と前記第2のアレイ導波路回折格子の出力導波路を接続する第2の導波路アレイとを備え、

前記第1のアレイ導波路回折格子の入力導波路に光信号を入力し、前記第2のアレイ導波路回折格子の入力導波路から光信号を出力することを特徴とする光分散等化回路。

【請求項2】 少なくとも1本の入力導波路、第1のスラブ導波路、所定の導波路長差で順次長くなる複数本の導波路からなる第1の導波路アレイ、第2のスラブ導波路、複数本の出力導波路を順次接続した構造のアレイ導波路回折格子と、

所定の遅延時間を与える導波路長差で順次長くなる複数本の導波路からなり、その一端を前記アレイ導波路回折格子の出力導波路に接続した第2の導波路アレイと、前記第2の導波路アレイの他端から射出される光を折り返す高反射率終端と、

前記アレイ導波路回折格子の入力導波路に入力する光信号と入力導波路から出力される光信号の分岐を行う光サークキュレータとを備えたことを特徴とする光分散等化回路。

【請求項3】 複数本の入力導波路、第1のスラブ導波路、所定の導波路長差で順次長くなる複数本の導波路からなる第1の導波路アレイ、第2のスラブ導波路、複数本の出力導波路を順次接続した構造のアレイ導波路回折格子と、

所定の遅延時間を与える導波路長差で順次または2本単位に長くなる複数本の導波路からなり、その一端を前記アレイ導波路回折格子の出力導波路に接続し、その他端で隣接する2本の導波路同士を接続した第2の導波路アレイとを備え、

前記アレイ導波路回折格子の所定の入力導波路に光信号を入力し、その入力導波路に隣接する入力導波路から光信号を出力することを特徴とする光分散等化回路。

【請求項4】 複数本の入力導波路、第1のスラブ導波路、所定の導波路長差で順次長くなる複数本の導波路からなる第1の導波路アレイ、第2のスラブ導波路、複数本の出力導波路を順次接続した構造のアレイ導波路回折格子と、

複数本の導波路からなり、その一端をアレイ導波路回折格子の出力導波路に接続し、その他端で隣接する2本の導波路同士を接続した第2の導波路アレイとを有する第

1の光導波回路および同様の構成の第2の光導波回路を備え、

前記第1の光導波回路の第2の導波路アレイおよび第2の光導波回路の第2の導波路アレイの各導波路を上から順番に組としたりとときに、各導波路を所定の遅延時間を与える導波路長差で1組または2組単位に長くする構成とし、

前記第1の光導波回路の入力導波路のうち光信号を入力する所定の入力導波路の両側の2本の導波路と、前記第2の光導波回路の入力導波路のうち光信号を出力する所定の入力導波路の両側の2本の導波路とを相互に接続したことを特徴とする光分散等化回路。

【請求項5】 複数本の入力導波路、第1のスラブ導波路、所定の導波路長差で順次長くなる複数本の導波路からなる第1の導波路アレイ、第2のスラブ導波路、複数本の出力導波路を順次接続した構造のアレイ導波路回折格子と、

複数本の導波路からなり、その一端を前記アレイ導波路回折格子の出力導波路に接続し、その他端で隣接する2本の導波路同士を接続した第2の導波路アレイとを備え、

前記第2の導波路アレイの複数本の導波路を半数ずつ2分し、それぞれ上から順番に組としたりとときに、各導波路を所定の遅延時間を与える導波路長差で1組または2組単位に長くする構成とし、

前記入力導波路のうち光信号を出力する所定の2本の導波路に対して、それぞれ両側に配置される2本の導波路同士を接続したことを特徴とする光分散等化回路。

【請求項6】 請求項3ないし請求項5のいずれかに記載の光分散等化回路において、

第2の導波路アレイは、隣接する2本の導波路同士を結合率50%の方向性結合器と高反射率終端を用いて接続した構成であることを特徴とする光分散等化回路。

【請求項7】 請求項1ないし請求項6のいずれかに記載の光分散等化回路において、

複数個のスラブ導波路を1つのスラブ導波路で共用した構成であることを特徴とする光分散等化回路。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、分散を有する光ファイバを伝搬して歪みを受けた光信号の波形整形を行う光分散等化回路に関する。

【0002】

【従来の技術】 現在、一般に使用されている光ファイバ（石英ファイバ）は波長1.3 μ mで零分散となり、波長1.55 μ mで損失が最低になる特性を有している。この光ファイバに波長1.55 μ mの光信号を入射すると、光ファイバの分散が零にならないために光信号周波数（変調周波数） f が高くなるにつれて伝搬遅延時間 τ が小さくなる（伝搬速度が速くなる）。すなわち、この光ファイバ

を伝搬する光信号は、光信号パルス内のわずかな周波数差（波長差）により、伝搬速度の相違から到着時間に差が生じて光信号パルスが歪む。この歪みが大きくなること、光ファイバの伝送容量あるいは伝送距離が制限されることになる。

【0003】そこで、分散を有する光ファイバを伝搬して歪みを受けた光信号を波形整形する光分散等化回路が用いられる。従来の光分散等化回路としては、光信号を電気信号に変換して使用するマイクロ波ストリップラインが知られている。その構造は、図14に示すように、誘電体91とその両面に接合される金属導体92、93である。ここで、ストリップラインの長さ l とすると、伝搬遅延時間 τ は、図15に示すように、信号周波数 f が高くなるにつれて大きくなる（伝搬速度が遅くなる）。また、ストリップラインの長さ l に応じてその割合が大きくなる。

【0004】このように、伝搬遅延特性はマイクロ波ストリップラインと光ファイバとは逆になる。したがって、分散を有する光ファイバを伝搬した光信号は、電気信号に変換した後に、分散および光ファイバ長に対応する長さ l のマイクロ波ストリップラインを通すことにより、光ファイバにおける分散の影響を相殺することができる。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかし、従来の光分散等化回路を有する光伝送システムでは、波形整形するために光信号を一旦電気信号に変換する必要があり、全光中継を行うことができなかった。さらに、信号周波数 f が高くなるとストリップラインの導体損失が増加するために、光信号の波形整形を行っても光ファイバの伝送容量と伝送距離を共に高めることは困難であった。

【0006】本発明は、分散を有する光ファイバを伝搬して歪みを受けた光信号を電気信号に変換することなく光信号のままで波形整形することができ、かつ大容量・長距離光通信に適した光分散等化回路を提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】請求項1に記載の光分散等化回路は、少なくとも1本の入力導波路、第1のスラブ導波路、所定の導波路長さで順次長くなる複数の本導波路からなる第1の導波路アレイ、第2のスラブ導波路、複数の本出力導波路を順次接続した構造の第1のアレイ導波路回折格子および同様の構造の第2のアレイ導波路回折格子と、所定の遅延時間を与える導波路長さで順次長くなる複数の本の導波路からなり、第1のアレイ導波路回折格子の出力導波路と第2のアレイ導波路回折格子の出力導波路を接続する第2の導波路アレイとを備え、第1のアレイ導波路回折格子の入力導波路に光信号を入力し、第2のアレイ導波路回折格子の入力導波路から光信号を出力する。

【0008】請求項2に記載の光分散等化回路は、同様のアレイ導波路回折格子と、所定の遅延時間を与える導波路長さで順次長くなる複数の本の導波路からなり、その一端をアレイ導波路回折格子の出力導波路に接続した第2の導波路アレイと、第2の導波路アレイの他端から入射される光を折り返す高反射率終端と、アレイ導波路回折格子の入力導波路に入力する光信号と入力導波路から出力される光信号の分岐を行う光サークキュレータとを備える。

【0009】請求項3に記載の光分散等化回路は、複数の本の入力導波路、第1のスラブ導波路、所定の導波路長さで順次長くなる複数の本の導波路からなる第1の導波路アレイ、第2のスラブ導波路、複数の本の出力導波路を順次接続した構造のアレイ導波路回折格子と、所定の遅延時間を与える導波路長さで順次または2本単位に長くなる複数の本の導波路からなり、その一端をアレイ導波路回折格子の出力導波路に接続し、その他端で隣接する2本の導波路同士を接続した第2の導波路アレイとを備え、アレイ導波路回折格子の所定の入力導波路に光信号を入力し、その入力導波路に隣接する入力導波路から光信号を出力する。

【0010】請求項4に記載の光分散等化回路は、同様のアレイ導波路回折格子と、同様の第2の導波路アレイとを有する第1の光導波路回路および同様の構造の第2の光導波路回路を備え、第1の光導波路回路の第2の導波路アレイおよび第2の光導波路回路の第2の導波路アレイの各導波路を上から順番に組としたときに、各導波路を所定の遅延時間を与える導波路長さで1組または2組単位に長くする構成とし、第1の光導波路回路の入力導波路のうち光信号を入力する所定の入力導波路の両側の2本の導波路と、第2の光導波路回路の入力導波路のうち光信号を出力する所定の入力導波路の両側の2本の導波路とを相互に接続する。

【0011】請求項5に記載の光分散等化回路は、同様のアレイ導波路回折格子と、同様の第2の導波路アレイとを備え、第2の導波路アレイの複数の本の導波路を半数ずつ2分し、それぞれ上から順番に組としたときに、各導波路を所定の遅延時間を与える導波路長さで1組または2組単位に長くする構成とし、入力導波路のうち光信号を入力する所定の2本の導波路に対して、それぞれ両側に配置される2本の導波路同士を接続する。

【0012】請求項6に記載の光分散等化回路は、請求項3ないし請求項5のいずれかに記載の光分散等化回路において、第2の導波路アレイは、隣接する2本の導波路同士を結合率50%の方向性結合器と高反射率終端を用いて接続する。

【0013】請求項7に記載の光分散等化回路は、請求項1ないし請求項6のいずれかに記載の光分散等化回路において、複数の本のスラブ導波路を1つのスラブ導波路で共用した構成である。

【0014】

【作用】第1のアレイ導波路回折格子では、入力導波路から入力された光信号を各周波数の光に分散し、複数の出力導波路から第2の導波路アレイに導く。第2の導波路アレイでは、各周波数の光にそれぞれ対応する遅延時間を与えて第2のアレイ導波路回折格子に導く。第2のアレイ導波路回折格子では、複数の出力導波路から入力された各周波数の光を1本の出力導波路に合流し、ものと光信号に復元して出力する。

【0015】ここで、第1および第2のアレイ導波路回折格子の分波（合波）特性と、第2の導波路アレイの導波路長さを所定の遅延時間を与えるように設定することにより、任意の伝搬遅延特性を実現することができる。これにより、光信号を電気信号に変換することなく光信号の波形整形が可能となり、光ファイバの分散を相殺する光分散等化回路を実現することができる。

【0016】なお、請求項2～請求項5に記載の光分散等化回路では、第2の導波路アレイを折り返し構成としたものであり、第1のアレイ導波路回折格子と第2のアレイ導波路回折格子を共用する構成になっている。

【0017】そのために、請求項2に記載の光分散等化回路では、光信号の入出力導波路が同一になるので、光サークキュレータを用いて入出力光信号の分離が行われる。請求項3に記載の光分散等化回路では、光信号の入力導波路の両側の導波路に波形整形された光信号を出力させることができる。ただし、両導波路に出力光信号のパワーが2分されることになる。

【0018】請求項4に記載の光分散等化回路では、2つの光導波路を用いることにより2分された出力光信号を再度1つの光信号に合流することができる。このとき、各周波数の光に所定の遅延時間を与える第2の導波路アレイが2つ設置される。この2つの第2の導波路アレイの各導波路を上から順番に組として遅延時間を設定することにより、その一方のみで所定の伝搬遅延特性を実現することもできるし、両方を合わせて所定の伝搬遅延特性を実現することもできる。

【0019】請求項5に記載の光分散等化回路では、2つの光導波路の第1のスラブ導波路同士および第2のスラブ導波路同士をそれぞれ1つのスラブ導波路で実現した構成である。

【0020】

【実施例】図1は、請求項1に記載の光分散等化回路の第一実施例構成を示す。図において、本実施例の光分散等化回路は、基板10上に形成した複数の入力導波路11、スラブ導波路12、導波路長差 ΔL を有するn本の

$$\frac{dx}{dv} = \frac{f_m}{n_s dc} \lambda^2$$

【0025】と表すことができる。所定の光周波数間隔 $\Delta\nu$ ごとに分散された光は、図に示すように、光周波数

導波路からなる導波路アレイ13、スラブ導波路14、導波路長差 δL を有するN本の導波路からなる導波路アレイ15、スラブ導波路16、導波路長差 ΔL を有するn本の導波路からなる導波路アレイ17、スラブ導波路18、複数の出力導波路19を順次接続した構成である。ここで、入力導波路11から導波路アレイ15までが第1のアレイ導波路回折格子に対応し、導波路アレイ15から出力導波路19までが第2のアレイ導波路回折格子に対応し、導波路アレイ15が第2の導波路アレイに対応する。なお、第1のアレイ導波路回折格子と第2のアレイ導波路回折格子は、導波路アレイ15を介して対称に配置されており、第2のアレイ導波路回折格子における入力導波路をここでは出力導波路19としている。

【0021】本実施例の光分散等化回路は、例えば基板10にシリコン基板を用いた場合には、火炎堆積法と反応性イオンエッチング法の組み合わせにより、各導波路（コサ法 $0.5 \times 6.5 \mu\text{m}$ 、比屈折率差0.75%）を作製することができる。

【0022】以下、本実施例の構成を基に、本発明の光分散等化回路の動作原理について説明する。#1の入力導波路11から入射した光信号は、スラブ導波路12において回折により分がり、その回折面と垂直に配置された導波路アレイ13に導かれる。導波路アレイ13は、各導波路が導波路長差 ΔL で順次長くなっているため、各導波路を伝搬してスラブ導波路14に到達した光には導波路長差 ΔL に対応する位相差が生じている。この位相差は光周波数により異なるため、スラブ導波路14のレンズ効果で導波路アレイ15の入力端に集光する際に、光周波数ごとに異なる位置に集光することになる。すなわち、以上の構成からなる第1のアレイ導波路回折格子では、入力導波路11から入力された光信号を各周波数の光に分散し、導波路アレイ15の各導波路に導く光分散器として動作する。

【0023】導波路アレイ15の入力端における集光位置ずれの光周波数依存性は、集光位置を x 、光周波数を ν 、光波長を λ 、スラブ導波路のレンズ焦点距離を f 、回折次数を m 、スラブ導波路の実効屈折率を n_s 、導波路の実効屈折率を n_c 、スラブ導波路14の接続点における導波路アレイ13の導波路ピッチを d 、真中の入力導波路11から入力した光信号が導波路アレイ15の真中に分散される中心波長を λ_0 、真空中の光速を c とすると、

【0024】

【数1】

$$\text{ただし、} m = \frac{n_c \Delta L}{\lambda_0}$$

の小さい順に $\nu_1, \nu_2, \nu_3, \dots, \nu_N$ のようになんて導波路アレイ15を伝搬する。

【0026】導波路アレイ15は、各導波路が導波路長さ δL で順次長くなっているのに、周波数が高い光ほど長い導波路を伝搬して大きな遅延が与えられることになる。すなわち、N本の導波路からなる導波路アレイ15において、遅延を与える光周波数範囲Wおよび最大遅延時間 τ は、

【0027】

【数2】

$$W = \Delta \nu (N-1)$$

$$\tau = \frac{\delta L n_e (N-1)}{c}$$

【0028】で与えられる。このようにして、光周波数ごとに分けられてそれぞれ所定の遅延時間を与えられた光は、スラブ導波路16、導波路アレイ17およびスラブ導波路18からなる第2のアレイ導波路回折格子に入力される。第2のアレイ導波路回折格子は、第1のアレイ導波路回折格子と逆に光合波率として動作し、各周波数の光は*i*の出力導波路19に集光する。

【0029】以上説明したように、本発明の光分散等化回路では、第1のアレイ導波路回折格子で分散された各周波数の光に対して、導波路アレイ15で周波数が高い光ほど大きな遅延を与えることができる。すなわち、1.3 μ m零分散光ファイバに、1.55 μ mの光信号を伝搬させた場合と逆の伝搬遅延特性を実現することができる。これにより、光信号を電気信号に変換することなく光信号の波形整形が可能となり、光ファイバの分散を相殺することができる。

【0030】本実施例の光分散等化回路では、 $f=16$ mm、 $d=10\mu$ m、 $m=2222$ 、 $\Delta L=2.38$ mm、 $n=144$ 、スラブ導波路14、16の接続点における導波路アレイ15の導波路ピッチ Δx を20 μ m、 $\Delta \nu=1$ GHz、 $\delta L=1.49$ mm、 $N=64$ と設計した。この設計値では、遅延光を与える光周波数範囲Wが63GHz、最大遅延 τ が469psecとなり、遅延時間として930psec/nm(=469psec/63GHz)が得られる。これは、60kmの1.3 μ m零分散光ファイバに1.55 μ mの光信号を伝搬させた場合の分散(15-16psec/km/nm)による波形歪みを相殺できることを示す。

【0031】なお、本実施例は、1.3 μ m零分散光ファイバに1.55 μ mの光信号を伝搬させたときの光分散等化回路であるために、導波路アレイ15で周波数が高い光ほど大きな遅延を与えるようになっている。一方、例えば1.55 μ m零分散光ファイバに1.3 μ mの光信号を伝搬させたときの光分散等化回路を構成するには、導波路アレイ15の各導波路の並びを逆にして周波数が低い光ほど大きな遅延を与えるようにすればよい。このように、導波路アレイ15のパターンを適宜設定するだけで、任意の伝搬遅延特性を実現することができるので、光分散

等化回路ばかりでなく任意の波長分散を有する疑似線路としても利用することができる。

【0032】また、図1に示すように、複数の入力導波路11および複数の出力導波路19を設けることにより、本回路1つで多チャンネルの光信号を同時に波形整形する光分散等化回路を実現することができる。

【0033】図2は、請求項2に記載の光分散等化回路の第一実施例構成を示す。図において、本実施例の光分散等化回路は、基板20上に形成した複数の入力導波路21、スラブ導波路22、導波路長さ δL を有する導波路アレイ23、スラブ導波路24、導波路長さ $\delta L/2$ を有する導波路アレイ25を順次接続し、導波路アレイ25の他端に高反射率終端26を配置した構成である。さらに、入力光ファイバ27および出力光ファイバ28が接続された光サークキュレータ29を入力導波路21とを接続用光ファイバ30で接続した構成である。こゝで、高反射率終端26は、例えば光学研磨した導波路端面に金を蒸着することにより形成することができる。

【0034】本実施例の動作原理は、図1に示す実施例と基本的には同じである。入力光ファイバ27から光サークキュレータ29に入射した光信号は、接続用光ファイバ30を介して入力導波路21に入力される。スラブ導波路22、導波路アレイ23、スラブ導波路24からなるアレイ導波路回折格子は、上述したように、入力導波路21から入力された光信号を各周波数の光に分散し、導波路アレイ25の各導波路に導く光分散器として動作する。

【0035】導波路アレイ25は、図2(2)に示すように、各導波路が導波路長さ $\delta L/2$ で順次長くなっており、かつ導波路端に高反射率終端26が設けられている。したがって、各周波数に分散された光は、導波路アレイ25を往復することによって導波路長さ δL の導波路アレイを伝搬したのと等価になる。すなわち、導波路アレイ25および高反射率終端26は、図1に示す導波路アレイ15と同等の働きをすることになり、周波数が高い光ほど大きな遅延を与えることができる。

【0036】導波路アレイ25を往復してそれぞれ所定の遅延時間を与えられた各周波数の光は、再びスラブ導波路24に入力される。スラブ導波路24、導波路アレイ23およびスラブ導波路22からなるアレイ導波路回折格子は、復路の光に対して光合波器として動作し、各周波数の光は入力時と同じ入力導波路21に集光する。その後、光信号は接続用光ファイバ30を通り、光サークキュレータ29を介して出力用光ファイバ28から出力される。

【0037】以上説明したように、本実施例の構成においても、分散された各周波数の光に対して所定の伝搬遅延特性を実現する遅延時間を与え、光分散等化回路として動作させることができる。本実施例の特徴は、1つのアレイ導波路回折格子を双方向に使用し、光分散器およ

び光合波器の機能を同一の回路で実現したところにある。なお、本実施例の構成では光信号の入出力導波路が同じになるので、光サークキュレータ29を用いて入出力する光信号を分離する必要がある。

【0038】図3は、請求項3に記載の光分散等化回路の第一実施例構成（請求項6対応）を示す。図において、本実施例の光分散等化回路は、基板20上に形成した複数の入力導波路21、スラブ導波路22、導波路長差 ΔL を有する導波路アレイ23、スラブ導波路24、導波路長差 $\delta L/2$ を有する導波路アレイ25を順次接続し、導波路アレイ25の他端に結合率50%の方向性結合器31および高反射率終端26を接続した構成である。

【0039】なお、図2に示す実施例と同等の機能を実現するものは同一符号を付した。本実施例の特徴は、結合率50%の方向性結合器31および高反射率終端26を用いて導波路アレイ25の隣接する2本の導波路同士を接続したところにある。この構成では光信号の入出力導波路が異なるので、図2に示す実施例で不可欠であった光サークキュレータが不要となる。

【0040】以下、本実施例の動作原理について説明する。スラブ導波路22、導波路アレイ23、スラブ導波路24からなるアレイ導波路回折格子は、上述したように、 $\#1$ の入力導波路21から入力された光信号を各周波数の光に分離し、導波路アレイ25の各導波路に導く光分散器として動作する。

【0041】導波路アレイ25は、各導波路が導波路長差 $\delta L/2$ で順次長くなっている。また、その導波路端には隣接する2本の導波路同士を接続する結合率50%の方向性結合器31と高反射率終端26が設けられている。したがって、各周波数に分散された光は、結合率50%の方向性結合器31を通り高反射率終端26で反射した後、再び結合率50%の方向性結合器31を通るので、隣の導波路に100%結合することになる。すなわち、導波路アレイ25、方向性結合器31および高反射率終端26は、等価的に図3(2)に示す構成となる。これにより、隣接する2本の導波路に分散された光は、同じ2本の導波路を互いに逆回りに等距離を伝搬することになる。なお、隣接する2本の導波路を1組とすると、各組の導波路長差は $2\delta L$ となる。

【0042】また、スラブ導波路24から導波路アレイ25に、光周波数

$\nu_1, \nu_2, \nu_3, \nu_4, \dots, \nu_{N-1}, \nu_N$

の順番に分散された光は、反射してスラブ導波路24に戻ってきたときには、

$\nu_2, \nu_1, \nu_4, \nu_3, \dots, \nu_N, \nu_{N-1}$

のように、1つおきに光周波数の順番が入れ替わった状態になっている。

【0043】順番が入れ替わった周波数の光同士（光ペア）は、上述したように反射して戻ってくる間に同じ導

波路長を伝搬し、かつ光ペア間に $2\delta L$ の導波路長差が生じるので、周波数が高い光ペアほど長い導波路を伝搬することになる。すなわち、2周波数単位で周波数が高い光ほど大きな遅延を与えることができる。

【0044】それぞれ所定の遅延時間を与えられた各周波数の光は、再びスラブ導波路24に入射される。ただし、その入射位置は出射位置と異なり、上述したように1つ繰り上がる光（ $\nu_2, \nu_4, \dots, \nu_N$ ）と、1つ繰り下がる光（ $\nu_1, \nu_3, \dots, \nu_{N-1}$ ）に分かれる。したがって、スラブ導波路24、導波路アレイ23およびスラブ導波路22からなるアレイ導波路回折格子は、復路の光に対して光合波器として動作するが、入射位置がずれるので各周波数の光は $\#1$ の入力導波路21には集光されない。一方の光（ $\nu_2, \nu_4, \dots, \nu_N$ ）は $\#1-1$ の入力導波路21に集光し、他方の光（ $\nu_1, \nu_3, \dots, \nu_{N-1}$ ）は $\#1+1$ の入力導波路21に集光してそれぞれ出力される。

【0045】このように、本実施例では、光信号の入力導波路（ $\#1$ ）の両側の入力導波路（ $\#1-1, \#1+1$ ）から、同じ遅延特性によって波形整形された光信号を出力させることができる。ただし、各出力光信号は、それぞれ周波数が1つおきになっている光を含まれたものである。光ペアが2つ分かれるが、各周波数の光が伝搬する導波路長差を $2\delta L$ に設定しているため、図1、図2に示す実施例と同等の光分散等化回路となっている。なお、分散する光周波数間隔を半分にし、かつ導波路アレイ25の導波路長差 $\delta L/4$ （各周波数の光が伝搬する導波路長差 δL ）とすれば、光周波数が1つおきで組になっている問題を解決することができる。

【0046】また、図3に示す本実施例の構成において、導波路アレイ25の隣接する2本の導波路を1組としたときに、各組の導波路長差が $2\delta L$ となれば、必ずしも各導波路が導波路長差 $\delta L/2$ で順次長くなってなくてもよい。たとえば、図3(3)に等価的に示すように、1組の導波路長を等しくし、2本単位に導波路長差 δL で順次長くなるように構成しても同様である。

【0047】図4は、請求項3に記載の光分散等化回路の第一実施例構成を示す。図3に示す第一実施例構成では、隣接する導波路間の光結合を結合率50%の方向性結合器31と高反射率終端26で実現していたが、本実施例の構成では曲がり導波路32を用いることを特徴としている。その他の構成および機能は、第一実施例と同じである。なお、本実施例の構成においても、導波路アレイ25の各導波路は、導波路長差 $\delta L/2$ で順次長くなるようにするか、あるいは2本単位に導波路長差 δL で順次長くなるようにしても同様である。

【0048】図5は、請求項4に記載の光分散等化回路の第一実施例構成（請求項6対応）を示す。図3および図4に示す実施例構成では、光信号を入力する導波路を分離させることはできるものの、波形整形を受けた光

信号は2つの導波路に分離されて出力され、光パワーが2分されてしまう。そこで、2分された光信号を再度1つの光信号に合波すればその問題は解決できる。図5に示す実施例は、それを実現したものである。

【0049】図において、入力導波路21、スラブ導波路22、導波路長差 ΔL を有する導波路アレイ23、スラブ導波路24、導波路長差 $\delta L/2$ を有する導波路アレイ25、結合率50%の方向性結合器31および高反射率終端26は、図3に示すものとまったく同じである。すなわち、光信号の入力導波路(＃1)の両側の入力導波路(＃1-1、＃1+1)から、同じ遅延特性によって波形整形された光信号が出力される。

【0050】本実施例では、これと同じ構成の入力導波路41、スラブ導波路42、導波路長差 ΔL を有する導波路アレイ43、スラブ導波路44、導波路アレイ45、結合率50%の方向性結合器46および高反射率終端47を備え、接続用導波路48を介して、同じ番号(＃1-1、＃1+1)の入力導波路同士を接続する。ただし、導波路アレイ45は各導波路の導波路長が等しくなっている。また、光信号は、＃1の入力導波路21に入力したときに、＃1の入力導波路41から出力される。

【0051】以下、波形整形された光信号がスラブ導波路22から＃1-1、＃1+1の入力導波路21に出力された以降の動作について説明する。各光信号は、接続用導波路48を介して、同じ番号の入力導波路41からスラブ導波路42に入力される。スラブ導波路42、導波路アレイ43、スラブ導波路44からなるアレイ導波路回折格子は、同様にそれぞれの光信号を各周波数の光に分散し、導波路アレイ45の各導波路に並び光分散として動作する。このときの光周波数の並びは、

$$\nu_2, \nu_1, \nu_4, \nu_3, \dots, \nu_N, \nu_{N-1}$$

のように1つおきに光周波数の順番が入れ替わった状態になる。また、結合率50%の方向性結合器46と高反射率終端47により反射してスラブ導波路44に戻ってきたときには、

$$\nu_1, \nu_2, \nu_3, \nu_4, \dots, \nu_{N-1}, \nu_N$$

のように最初の順番に再び入れ替えられる。その際、導波路アレイ45の各導波路の導波路長は等しいので、各周波数の光の遅延時間差は変わらない。

【0052】光周波数の並びが、スラブ導波路22、導波路アレイ23およびスラブ導波路24による最初の分散時の状態に戻った光は、光波長として動作するスラブ導波路44、導波路アレイ43およびスラブ導波路42を介して、＃1の入力導波路41に集光される。

【0053】このように、本実施例では、2つの導波路に2分された光信号を再度1つの導波路に合波することができるので、光パワーが半減する問題や光周波数が1つおきで粗くなる問題を解決することができる。なお、隣接する導波路間の光結合を行う結合率50%の方向性結合器31、46と高反射率終端26、47の代わりに、

図4に示すような曲がり導波路32を用いても同様である。

【0054】ところで、本実施例では図6(1)に示すように、導波路アレイ25の導波路長差により各周波数の光に所定の遅延時間を与えている。しかし、光ベア(例えば周波数 ν_1, ν_2 の光)は導波路アレイ25と導波路アレイ45を通過するので、その双方で所定の遅延時間を与えるようにしてもよい。たとえば、図6(2)に示すように、導波路アレイ25、45の双方を導波路長差 $\delta L/4$ の導波路で構成しても同様の伝搬遅延特性を実現することができる。また、図6(3)に示すように、導波路アレイ25、45の双方を2本単位に導波路長差 $\delta L/2$ の導波路で構成しても同様の伝搬遅延特性を実現することができる。このように、導波路アレイ25および導波路アレイ45の各導波路について、上から順番に組として扱い、所定の伝搬遅延特性に対応して1組または2組単位に長くする構成としても同様である。

【0055】図7は、請求項5に記載の光分散等化回路の第一実施例構成(請求項7対応)を示す。本実施例は、図5に示すスラブ導波路22とスラブ導波路42、およびスラブ導波路24とスラブ導波路44をそれぞれ1つのスラブ導波路51、52で実現した構成である。その他の構成については、図5に示す各部と対応するものは同一符号を付した。なお、導波路アレイ25、45については、図6(2)に示すパターンを採用し、ともに導波路長差 $\delta L/4$ に設定した。

【0056】本実施例の動作原理は、図5に示す実施例と基本的には同じであるので説明は省略する。ただし、所定の入力導波路21に入力された光信号から分散された光はスラブ導波路52から導波路アレイ25に入力され、接続用導波路48を介して再入力された光信号から分散された光はスラブ導波路52から導波路アレイ45に入力され、さらに波形整形された光信号がスラブ導波路51から所定の入力導波路41に出力されるように、スラブ導波路51、導波路アレイ23(43)、スラブ導波路52および各導波路アレイ25、45を適宜設計する。

【0057】図8は、請求項1に記載の光分散等化回路の第二実施例構成(請求項7対応)を示す。本実施例は、図1に示すスラブ導波路12、14、16、18を1つのスラブ導波路61で実現した構成である。その他の構成については、図1に示す各部と対応するものに同一符号を付した。すなわち、スラブ導波路61は、入力導波路11と導波路アレイ13との間ではスラブ導波路12として機能し、導波路アレイ13と導波路アレイ15との間ではスラブ導波路14として機能し、導波路アレイ15と導波路アレイ17との間ではスラブ導波路16として機能し、導波路アレイ17と出力導波路19との間ではスラブ導波路18として機能する構成である。動作原理は、図1に示す実施例と同じであるので説明は

省略する。

【0058】図9は、請求項2に記載の光分散等化回路の第二実施例構成（請求項7対応）を示す。本実施例は、図2に示すスラブ導波路22、24を1つのスラブ導波路62で実現した構成である。その他の構成については、図2に示す各部と対応するものに同一符号を付した。すなわち、スラブ導波路62は、入力導波路21と導波路アレイ23との間ではスラブ導波路22として機能し、導波路アレイ23と導波路アレイ25との間ではスラブ導波路24として機能する構成である。動作原理は、図2に示す実施例と同じであるので説明は省略する。

【0059】図10は、請求項3に記載の光分散等化回路の第三実施例構成（請求項6、7対応）を示す。本実施例は、図3に示すスラブ導波路22、24を1つのスラブ導波路62で実現した構成である。その他の構成については、図3に示す各部と対応するものに同一符号を付した。すなわち、スラブ導波路62は、入力導波路21と導波路アレイ23との間ではスラブ導波路22として機能し、導波路アレイ23と導波路アレイ25との間ではスラブ導波路24として機能する構成である。動作原理は、図3に示す実施例と同じであるので説明は省略する。

【0060】図11は、請求項3に記載の光分散等化回路の第四実施例構成（請求項7対応）を示す。本実施例は、図4に示すスラブ導波路22、24を1つのスラブ導波路62で実現した構成である。その他の構成については、図4に示す各部と対応するものに同一符号を付した。動作原理は、図3、図4に示す実施例と同じであるので説明は省略する。

【0061】図12は、請求項4に記載の光分散等化回路の第二実施例構成（請求項6、7対応）を示す。本実施例は、図5に示すスラブ導波路22、24、42、44を1つのスラブ導波路63で実現した構成である。その他の構成については、図5に示す各部と対応するものに同一符号を付した。すなわち、スラブ導波路63は、入力導波路21（接続用導波路48）と導波路アレイ23との間ではスラブ導波路22として機能し、導波路アレイ23と導波路アレイ25との間ではスラブ導波路24として機能し、入力導波路41（接続用導波路48）と導波路アレイ43との間ではスラブ導波路42として機能し、導波路アレイ43と導波路アレイ45との間ではスラブ導波路44として機能する構成である。動作原理は、図5に示す実施例と同じであるので説明は省略する。

【0062】図13は、請求項5に記載の光分散等化回路の第二実施例構成（請求項6、7対応）を示す。本実施例は、図7に示すスラブ導波路51、52を1つのスラブ導波路64で実現した構成である。その他の構成については、図7に示す各部と対応するものに同一符号を

付した。すなわち、スラブ導波路64は、入力導波路21、41と導波路アレイ23（43）との間ではスラブ導波路51として機能し、導波路アレイ23（43）と導波路アレイ25、45との間ではスラブ導波路52として機能する構成である。動作原理は、図5、7に示す実施例と同じであるので説明は省略する。

【0063】なお、図12、図13に示す実施例において、結合率50%の方向性結合器31、46と高反射率終端26、47の代わりに、図4に示すような曲がり導波路32を用いることができる。また、導波路アレイ25、45のパターンについても、所定の伝搬遅延特性が得られるものであれば自由に選択することができる。

【0064】

【発明の効果】以上説明したように本発明は、光合成分波器として機能するアレイ導波路屈折格子の設計値と、その間を結合する導波路アレイの導波路長さ δl を適当に選ぶことにより、任意の伝搬遅延特性を実現することができる。したがって、光信号を電気信号に変換することなく、光ファイバの分散による光信号の歪みを相殺することができる。

【0065】また、アレイ導波路屈折格子による損失が原理的に小さく、さらに波長分散特性を光周波数のオーダーで精度よく実現することができるので、大容量・長距離光通信に適用可能な光分散等化回路を構成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】請求項1に記載の光分散等化回路の第一実施例構成を示す図。

【図2】請求項2に記載の光分散等化回路の第一実施例構成を示す図。

【図3】請求項3に記載の光分散等化回路の第一実施例構成（請求項6対応）を示す図。

【図4】請求項3に記載の光分散等化回路の第二実施例構成を示す図。

【図5】請求項4に記載の光分散等化回路の第一実施例構成（請求項6対応）を示す図。

【図6】図5における導波路アレイ25と導波路アレイ45の関係を示す図。

【図7】請求項5に記載の光分散等化回路の第一実施例構成（請求項6対応）を示す図。

【図8】請求項1に記載の光分散等化回路の第二実施例構成（請求項7対応）を示す図。

【図9】請求項2に記載の光分散等化回路の第二実施例構成（請求項7対応）を示す図。

【図10】請求項3に記載の光分散等化回路の第三実施例構成（請求項6、7対応）を示す図。

【図11】請求項3に記載の光分散等化回路の第四実施例構成（請求項7対応）を示す図。

【図12】請求項4に記載の光分散等化回路の第二実施例構成（請求項6、7対応）を示す図。

【図 13】請求項 5 に記載の光分散等化回路の第二実施例構成（請求項 6、7 対応）を示す図。

【図 14】マイクロ波ストリップラインを用いた従来の光分散等化回路を示す図。

【図 15】マイクロ波ストリップラインの伝達遅延特性を示すグラフ。

【符号の説明】

10, 20 基板

11, 21, 41 入力導波路

12, 14, 16, 18, 22, 24, 42, 44 スラブ導波路

13, 15, 17, 23, 25, 43, 45 導波路アレイ

19 出力導波路

26, 47 高反射率終端

27 入力光ファイバ

28 出力光ファイバ

29 光サーキュレータ

30 接続用光ファイバ

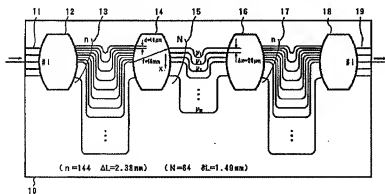
31, 46 方向性結合器

48 接続用導波路

61, 62, 63, 64 スラブ導波路

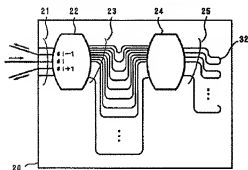
【図 1】

請求項 1 に記載の光分散等化回路の第一実施例構成



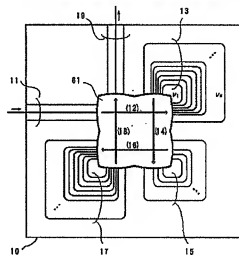
【図 4】

請求項 3 に記載の光分散等化回路の第二実施例構成



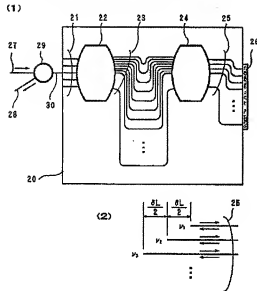
【図 8】

請求項 1 に記載の光分散等化回路の第二実施例構成（請求項 7 対応）



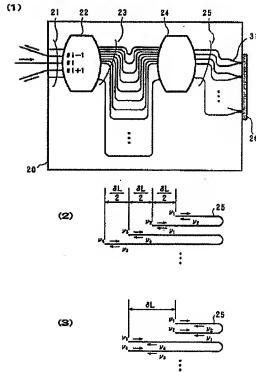
【図 2】

請求項 2 に記載の光分散等化回路の第一実施例構成



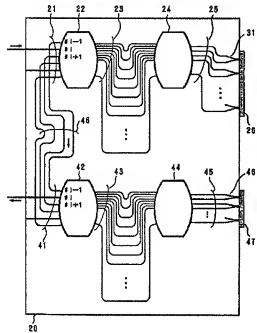
【図 3】

請求項 3 に記載の光分散等化回路の第一実施例構成 (請求項 6 対応)



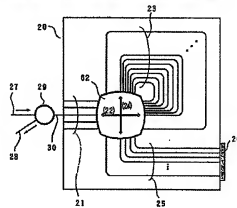
【図 5】

請求項 4 に記載の光分散等化回路の第一実施例構成 (請求項 6 対応)



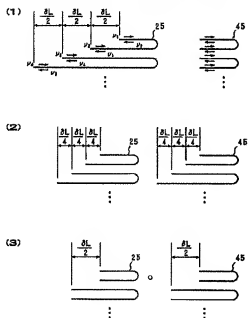
【図 9】

請求項 2 に記載の光分散等化回路の第二実施例構成 (請求項 7 対応)



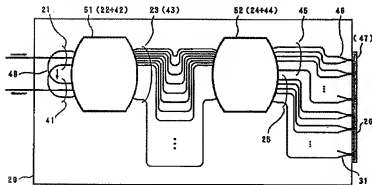
【図 6】

図 5 における導波路アレイ 25 と共振器アレイ 45 の関係



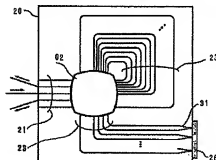
【図 7】

請求項 5 に記載の光分散化回路の第一実施例構成 (請求項 5 参照)



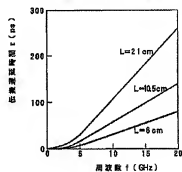
【図 10】

請求項 3 に記載の光分散化回路の第三実施例構成 (請求項 6、7 参照)



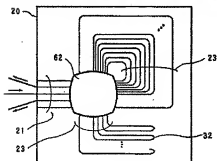
【図 15】

マイクロ波ストリップラインの伝達遅延特性



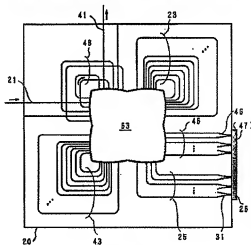
【図 11】

請求項 3 に記載の光分散等化回路の第 1 実施例構成 (請求項 1 対応)



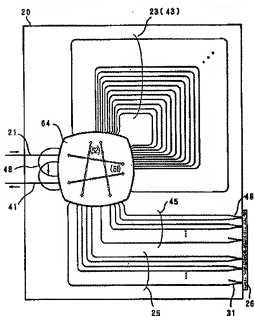
【図 12】

請求項 4 に記載の光分散等化回路の第 2 実施例構成 (請求項 6, 7 対応)



【図 13】

請求項 5 に記載の光分散等化回路の第 2 実施例構成 (請求項 6, 7 対応)



【図 14】

マイクロストリップラインを用いた従来の光分散等化回路

